

Uproszczone równania dynamiki laboratoryjnego modelu helikoptera dla ruchu w płaszczyźnie pionowej i poziomej

Ze względu na skomplikowany charakter oddziaływań skrośnych pomiędzy ruchem helikoptera w płaszczyźnie pionowej (vertical – indeks v) i poziomej (horizontal – indeks h), zdecydowano się na rozpatrywanie dwóch oddzielnych modeli. Model pierwszy opisuje ruch układu w płaszczyźnie pionowej, przy wyłączonym silniku ogonowym oraz przy braku możliwości ruchu w płaszczyźnie poziomej. Model drugi opisuje ruch układu w płaszczyźnie poziomej, przy wyłączonym silniku głównym oraz przy braku możliwości ruchu w płaszczyźnie pionowej.

Model pierwszy opisany jest układem równań różniczkowych zwyczajnych

$$J_v \frac{d^2 \alpha_v}{dt^2} = -f_v \frac{d\alpha_v}{dt} + a \sin(\alpha_v + \alpha_{v0}) + M_v, \quad (1)$$

$$M_v = l_v F_v(\omega_v), \quad (2)$$

$$I_v \frac{d\omega_v}{dt} = u_v - H_v^{-1}(\omega_v), \quad (3)$$

gdzie:

α_v - kąt obrotu w płaszczyźnie pionowej

J_v - moment bezwładności względem osi obrotu w płaszczyźnie pionowej,

f_v - współczynnik tarcia lepkiego,

a - moment od sił grawitacji,

α_{v0} - kąt zależny od geometrii układu,

l_v - odległość pomiędzy wirnikiem dużego śmigła a osią obrotu w płaszczyźnie pionowej,

$F_v(\omega_v)$ - zależność siły ciągu dużego śmigła od obrotów silnika,

I_v - moment bezwładności dużego śmigła,

$H_v^{-1}(\omega_v)$ - charakterystyka statyczna układu silnik śmigło dla silnika głównego,

u_v - sterowanie PWM silnika głównego, $u_v \in [0,1]$.

Model drugi opisany jest układem równań różniczkowych zwyczajnych

$$J_h \frac{d^2 \alpha_h}{dt^2} = -f_h \frac{d\alpha_h}{dt} + M_h, \quad (4)$$

$$M_h = l_h F_h(\omega_h), \quad (5)$$

$$I_h \frac{d\omega_h}{dt} = u_h - H_h^{-1}(\omega_h). \quad (6)$$

gdzie:

α_h - kąt obrotu w płaszczyźnie poziomej,

J_h - moment bezwładności względem osi obrotu w płaszczyźnie poziomej,

f_h - współczynnik tarcia lepkiego,

l_h - odległość pomiędzy wirnikiem dużego śmigła a osią obrotu w płaszczyźnie poziomej,

$F_h(\omega_h)$ - zależność siły ciągu tylnego śmigła od obrotów silnika,

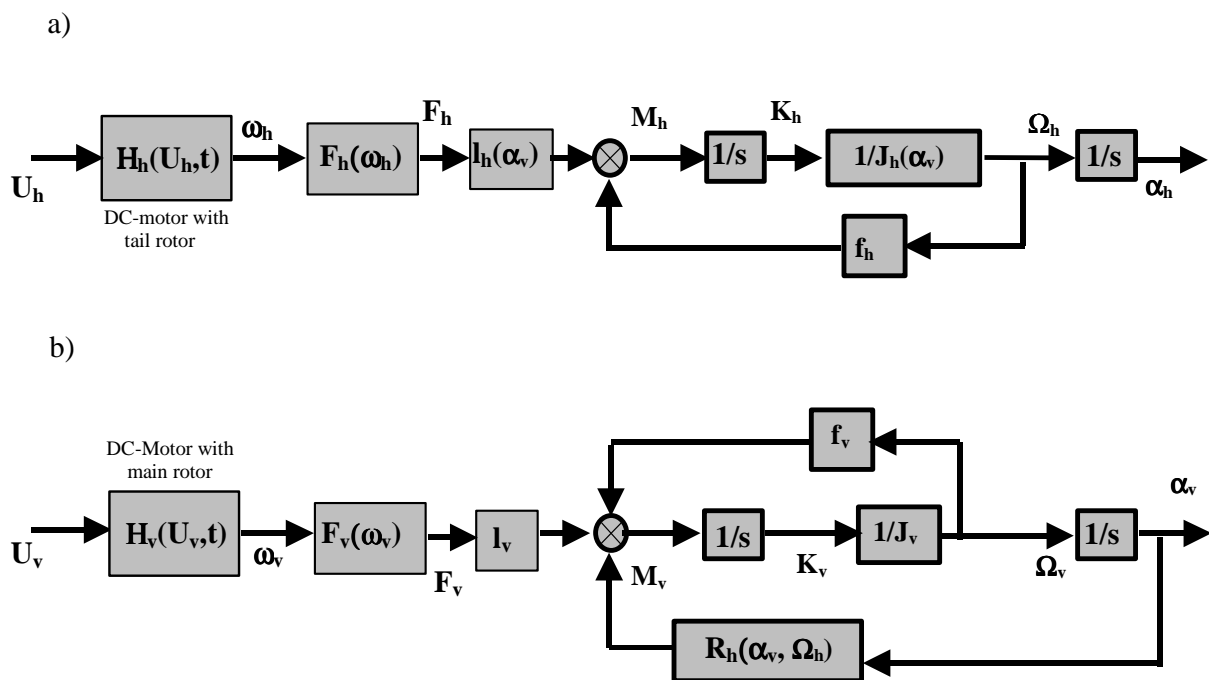
I_h - moment bezwładności tylnego śmigła,

$H_h^{-1}(\omega_h)$ - charakterystyka statyczna układu silnik śmigło dla silnika tylnego,

u_h - sterowanie PWM silnika tylnego, $u_h \in [0,1]$.

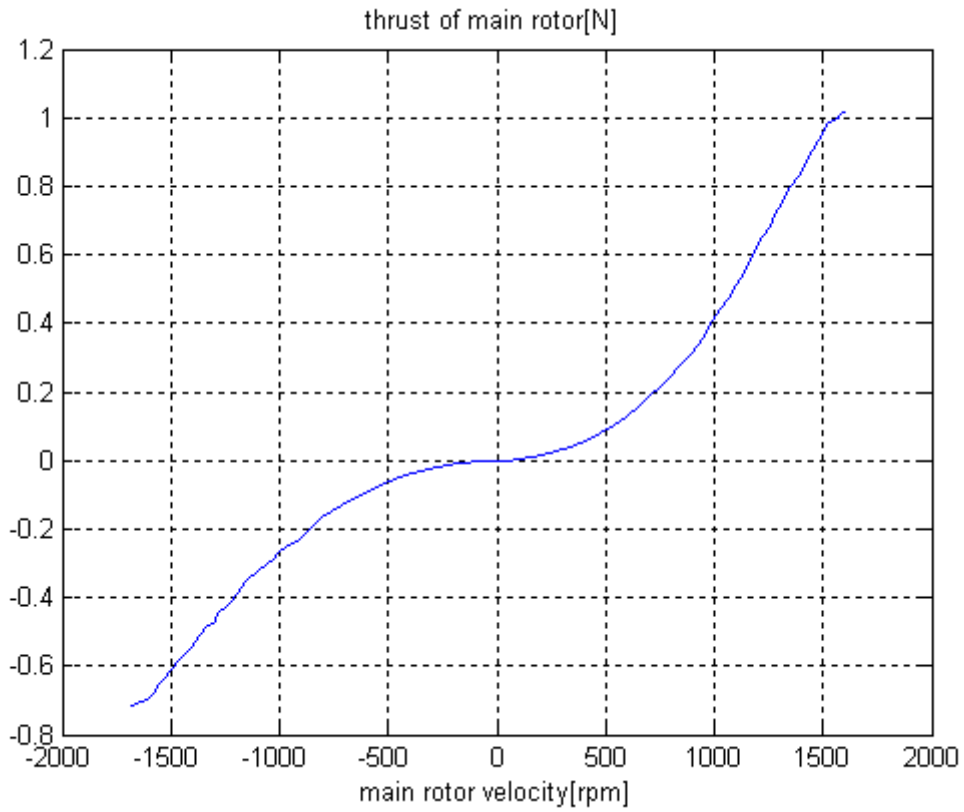
Współczynniki równań (1-6) oraz charakterystyki $F_v(\omega_v)$, $H_v^{-1}(\omega_v)$, $F_h(\omega_h)$, $H_h^{-1}(\omega_h)$, powinny być zidentyfikowane na drodze odpowiednio zaplanowanych eksperymentów identyfikacyjnych. Zmierzone charakterystyki należy aproksymować metodą najmniejszych kwadratów za pomocą wielomianów niskiego stopnia.

Rysunek 1 przedstawia uproszczone blokowe modele ruchu helikoptera w poszczególnych płaszczyznach. Schematy te są podstawą do budowy szczegółowych modeli w Simulinku.

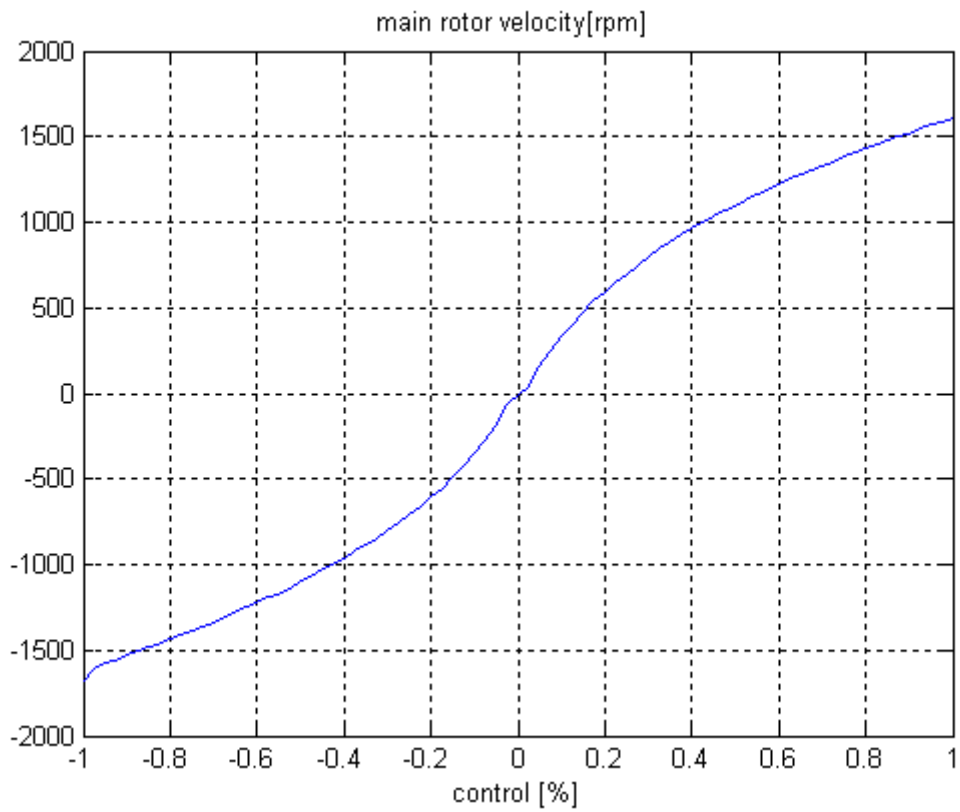


Rys. 1. Modele blokowe helikoptera a) w płaszczyźnie poziomej, b) w płaszczyźnie pionowej

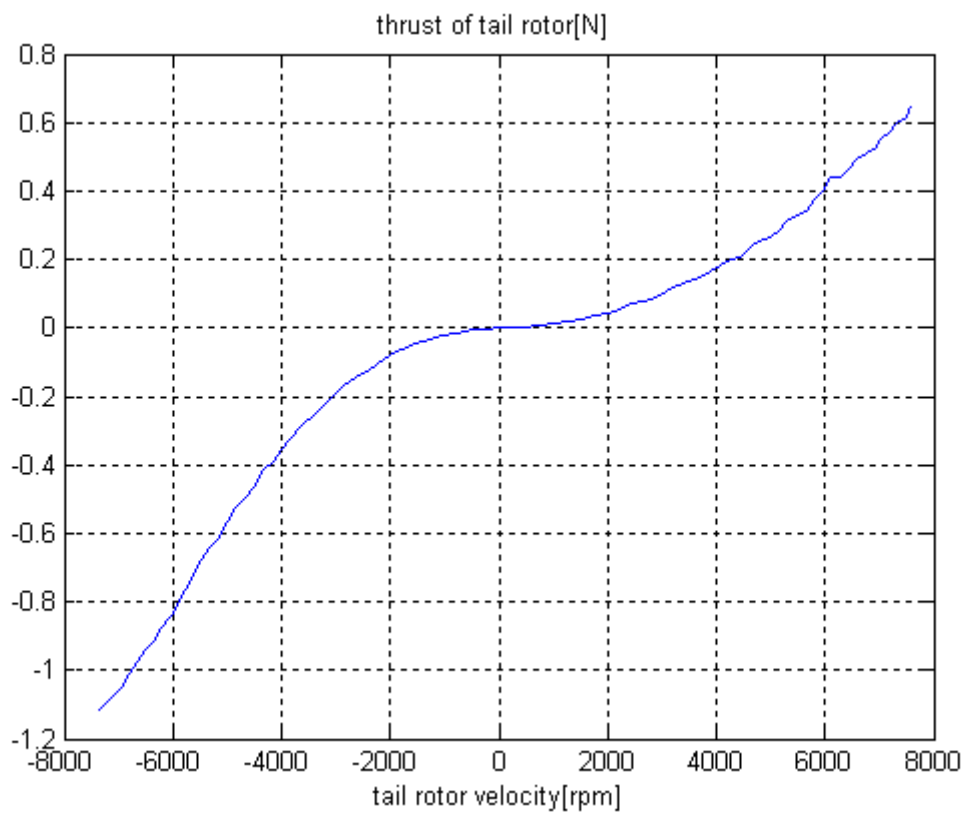
Przykładowe charakterystyki H i F przedstawione są na rysunkach 2, 3, 4 i 5.



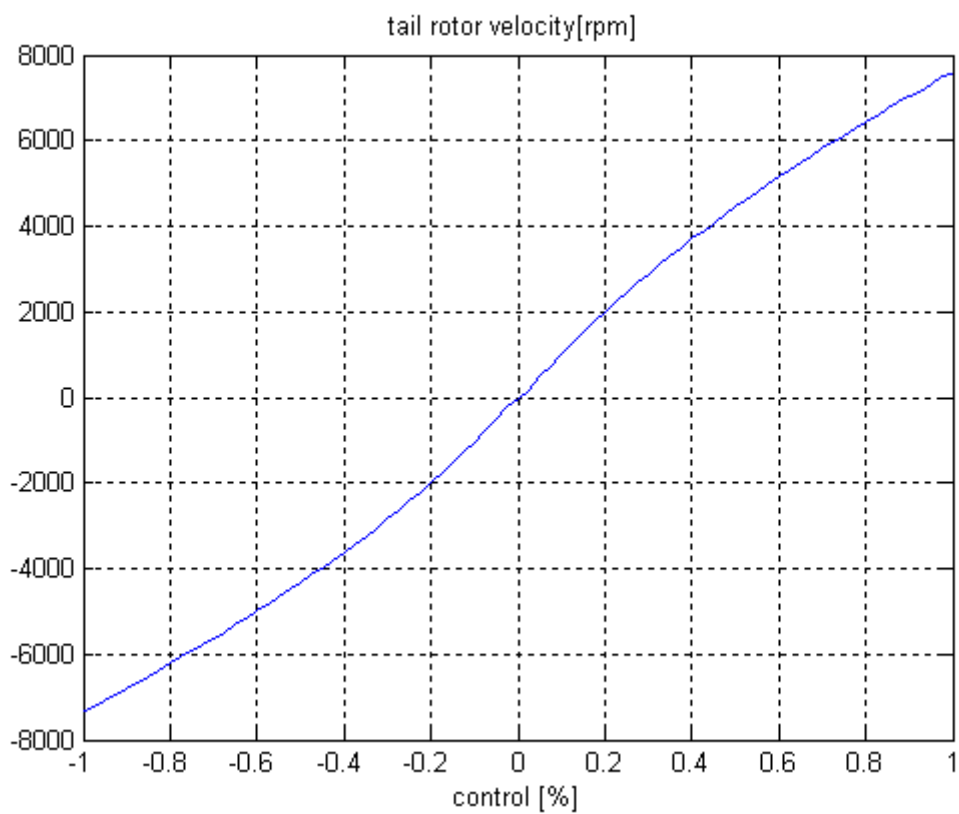
Rys. 2. Przykładowa charakterystyka F_v



Rys. 3. Przykładowa charakterystyka H_v



Rys. 4. Przykładowa charakterystyka F_h



Rys. 2. Przykładowa charakterystyka H_h